

16. Modellierverfahren nach Anspruch 14 oder 15,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Ein-  
flussgrößen (W) der Iterationen in ihrer Gesamtheit einem  
Einflussgrößenverlauf entsprechen, dass der Rechner (4) auf-  
grund des Vergleichs der erwarteten Endgröße ( $f'$ ) mit der ge-  
wünschten Endgröße ( $f'^*$ ) den Einflussgrößenverlauf variiert  
und ausgehend vom Erstzustand (Z) das Modellierverfahren nach  
Anspruch 12 erneut ausführt, bis zumindest die erwartete End-  
größe ( $f'$ ) mit der gewünschten Endgröße ( $f'^*$ ) korrespondiert.

10

17. Modellierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet, dass es on-  
line und in Echtzeit ausgeführt wird, dass der Rechner (4)  
anhand einer aus dem Anfangszustand (ZA) ermittelten Anfangs-  
größe (f) und einer gewünschten Folgegröße ( $f^*$ ) die Einfluss-  
größe (W) ermittelt und dass der Rechner (4) eine Beeinflus-  
sungseinrichtung (2) derart ansteuert, dass das Stahlvolumen  
(1) entsprechend der ermittelten Einflussgröße (W) beein-  
flusst wird.

20

18. Datenträger mit einem auf dem Datenträger gespeicherten  
Computerprogramm (6) umfassend Programmcode-Mittel zur  
Durchführung aller Schritte eines Modellierverfahrens nach  
einem der obigen Ansprüche, wenn das Computerprogramm (6) auf  
einem Rechner ausgeführt wird.

25

19. Rechner mit einem Massenspeicher (8), in dem ein Compu-  
terprogramm (6) umfassend Programmcode-Mittel zur  
Durchführung aller Schritte eines Modellierverfahrens nach  
einem der Ansprüche 1 bis 17 hinterlegt ist, so dass bei  
Aufruf des Computerprogramms (6) von dem Rechner ein  
Modellierverfahren mit allen Schritten nach einem der  
Ansprüche 1 bis 17 geführt wird.

30

20. Beeinflussungseinrichtung zum Beeinflussen der Temperatur  
eines Stahlvolumens (1), wobei die Beeinflussungseinrichtung  
einen die Beeinflussungseinrichtung steuernden Rechner (4)  
nach Anspruch 19 aufweist.

35

Printed: 02-05-2006

CT IP

CLMSPAMD

+49 9131

PCT/EP04/53709

2003P15367 WO

PCT/EP2004/053709

34a

21. Beeinflussungseinrichtung nach Anspruch 20, die als  
Kühlstrecke ausgebildet ist.

## Patentansprüche

1. Rechnergestütztes Modellierverfahren für das Verhalten eines Stahlvolumens (1) mit einer Volumenoberfläche,
- 5 - wobei ein Rechner (4) anhand eines momentanen Anfangszustands (ZA) des Stahlvolumens (1) und mindestens einer über die Volumenoberfläche auf das Stahlvolumen (1) einwirkenden momentanen Einflussgröße (W) durch Lösen einer Wärmeleitungsgleichung und einer Phasenumwandlungsgleichung einen
- 10 Folgezustand (ZF) des Stahlvolumens (1) ermittelt,
- wobei die mindestens eine Einflussgröße (W) für eine Anzahl von Flächenelementen (10) der Volumenoberfläche jeweils einen lokalen Einfluss umfasst und die lokalen Einflüsse über das jeweilige Flächenelement (10) auf das Stahlvolumen (1)
- 15 einwirken,
- wobei der Anfangszustand (ZA) und der Folgezustand (ZF) für eine Anzahl von Volumenelementen (9) des Stahlvolumens (1) jeweils lokale Anteile (p1, p2, p3) von modellierten Phasen des Stahls und eine einen lokalen Energieinhalt des Stahls
- 20 beschreibende Größe (H) umfassen,
- wobei die modellierten Phasen des Stahls Austenit und eine erste weitere Phase umfassen, in die Austenit umwandelbar ist und die in Austenit umwandelbar ist,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- 25 - dass der Anfangszustand (ZA) und der Folgezustand (ZF) für mindestens eines der Volumenelemente (9) auch eine lokale Konzentrationsverteilung (K) mindestens eines im Stahl beweglichen Legierungselements umfassen,
- dass im Rahmen der Umwandlungsgleichung für das mindestens
- 30 eine Volumenelement (9) ermittelt wird, welche Konzentrationen (k1, k3; k2, k4) des mindestens einen beweglichen Legierungselements beidseits einer ersten Phasengrenze (11, 12) zwischen Austenit und der ersten weiteren Phase vorliegen,
- 35 - dass durch Lösen eines ersten Stefan-Problems ermittelt wird, ob und wie sich die Konzentrationsverteilung (K) des mindestens einen beweglichen Legierungselements im austenitischen Bereich des betrachteten Volumenelements (9) ändert

- und ob und um welches Ausmaß ( $\delta x$ ,  $\delta x'$ ,  $\delta x''$ ) sich die erste Phasengrenze (11, 12) dadurch verschiebt, und
- dass die lokalen Anteile ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ) der Phasen anhand einer durch das Ausmaß ( $\delta x$ ) der Verschiebung der ersten Phasengrenze (11, 12) bestimmten Lage der ersten Phasengrenze (11, 12) ermittelt werden.

2. Modellierverfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- 10 - dass die modellierten Phasen des Stahls auch eine zweite weitere Phase umfassen, in die Austenit umwandelbar ist und die in Austenit umwandelbar ist,
- dass für das betrachtete Volumenelement (9) im Rahmen der Umwandlungsgleichung auch ermittelt wird, welche Konzentra-
- 15 tionen ( $k_2$ ,  $k_4$ ;  $k_1$ ,  $k_3$ ) des mindestens einen beweglichen Legierungselements beidseits einer zweiten Phasengrenze (12, 11) zwischen Austenit und der zweiten weiteren Phase vorliegen,
- dass durch zusätzliches Lösen eines zweiten Stefan-Problems ermittelt wird, ob und wie sich die Konzentrationsverteilung ( $K$ ) des mindestens einen beweglichen Legierungselements im austenitischen Bereich des betrachteten Volumenelements (9) ändert und ob und um welches Ausmaß ( $\delta x''$ ,  $\delta x'$ ) sich die zweite Phasengrenze (12, 11) dadurch verschiebt,
- 20 - dass die Stefan-Probleme miteinander gekoppelt sind,
- dass den Phasengrenzen (11, 12) Flächenmaße ( $F_1$ ,  $F_2$ ) zugeordnet sind,
- dass ein Anteil ( $q$ ) des der zweiten Phasengrenze (12) zugeordneten Flächenmaßes ( $F_2$ ) an der Summe der Flächenmaße ( $F_1$ ,  $F_2$ ) bestimmt wird und
- 30 - dass die lokalen Anteile ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ) auch vom Anteil ( $q$ ) des der zweiten Phasengrenze (12) zugeordneten Flächenmaßes ( $F_2$ ) an der Summe der Flächenmaße ( $F_1$ ,  $F_2$ ) abhängen.

35 3. Modellierverfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Anteil ( $q$ ) des der zweiten Phasengrenze (12) zugeordneten Flächenmaßes ( $F_2$ ) an der Summe der Flächenmaße ( $F_1$ ,  $F_2$ ) derart

bestimmt wird, dass die Phasengrenzen (11, 12) stets nebeneinander angeordnet bleiben.

4. Modellierverfahren nach Anspruch 2,

- 5     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     d a s s   d e r   A n -  
t e i l   (q)   d e s   d e r   z w e i t e n   P h a s e n g r e n z e   (12)   z u g e o r d n e t e n   F l ä -  
c h e n m a ß e s   (F2)   a n   d e r   S u m m e   d e r   F l ä c h e n m a ß e   (F1, F2)   d e r a r t  
n a c h g e f ü h r t   w i r d ,   d a s s   d i e   P h a s e n g r e n z e n   (11, 12)   a u f e i n a n d e r  
z u   s t r e b e n .

10

5. Modellierverfahren nach Anspruch 2, 3, oder 4,

- d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     d a s s   a n h a n d  
d e s   A n t e i l s   (q)   d e s   d e r   z w e i t e n   P h a s e n g r e n z e   (12)   z u g e o r d n e -  
t e n   F l ä c h e n m a ß e s   (F2)   a n   d e r   S u m m e   d e r   F l ä c h e n m a ß e   (F1, F2)  
15   a b g e l e i t e t   w i r d ,   o b   A u s t e n i t   n u r   i n   d i e   e r s t e   w e i t e r e   P h a s e ,  
n u r   i n   d i e   z w e i t e   w e i t e r e   P h a s e   o d e r   s o w o h l   i n   d i e   e r s t e   a l s  
a u c h   i n   d i e   z w e i t e   w e i t e r e   P h a s e   u m g e w a n d e l t   w i r d .

6. Modellierverfahren nach einem der obigen Ansprüche,

- 20   d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
- d a s s   d a s   b e t r a c h t e t e   V o l u m e n e l e m e n t   (9)   q u a d e r f ö r m i g   a u s g e -  
b i l d e t   i s t   u n d   d r e i   G r u n d a b m e s s u n g e n   (A, B, C)   a u f w e i s t ,  
- d a s s   d i e   e r s t e   P h a s e n g r e n z e   (11, 12)   a l s   R e c h t e c k   m i t   e i n e r  
e r s t e n   L ä n g s s e i t e   u n d   e i n e r   e r s t e n   Q u e r s e i t e   a u s g e b i l d e t  
25   i s t   u n d  
- d a s s   d i e   e r s t e   L ä n g s s e i t e   m i t   e i n e r   e r s t e n   d e r   G r u n d a b m e s -  
s u n g e n   (A, B, C)   k o r r e s p o n d i e r t ,   d i e   e r s t e   Q u e r s e i t e   p a r a l -  
l e l   z u   e i n e r   z w e i t e n   d e r   G r u n d a b m e s s u n g e n   (A, B, C)   v e r -  
l ä u f t   u n d   V e r s c h i e b u n g e n   ( $\delta x'$ ,  $\delta x''$ )   d e r   e r s t e n   P h a s e n g r e n z e  
30   (11, 12)   p a r a l l e l   z u   d e r   d r i t t e n   d e r   G r u n d a b m e s s u n g e n   (A,  
B, C)   e r f o l g e n .

7. Modellierverfahren nach Anspruch 6 und einem der Ansprüche  
2 bis 5,     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,

- 35   - d a s s   d i e   z w e i t e   P h a s e n g r e n z e   (12, 11)   a l s   R e c h t e c k   m i t   e i -  
n e r   z w e i t e n   L ä n g s s e i t e   u n d   e i n e r   z w e i t e n   Q u e r s e i t e   a u s g e -  
b i l d e t   i s t   u n d

- dass die zweite Längsseite mit der ersten der Grundabmessungen (A, B, C) korrespondiert, die zweite Querseite parallel zur zweiten der Grundabmessungen (A, B, C) verläuft und Verschiebungen ( $\delta x''$ ,  $\delta x'$ ) der zweiten Phasengrenze (12, 11) parallel zur dritten der Grundabmessungen (A, B, C) erfolgen.

8. Modellierverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Summe (1) der Querseiten der Phasengrenzen (11, 12) ungefähr gleich dem 1,5- bis 3-fachen eines kritischen Lamellenabstandes ( $l'$ ) ist, bei dem eine Energiebilanz, die einerseits mit dem Verschieben der Phasengrenzen (11, 12) korrespondierende Phasenumwandlungen des Stahls und andererseits mit dem Verschieben der Phasengrenzen (11, 12) korrespondierende Änderungen der Fläche einer Grenzschicht (16) zwischen der ersten und der zweiten weiteren Phase berücksichtigt, ausgeglichen ist.
9. Modellierverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Stefan-Problem eindimensional angesetzt und gelöst wird bzw. die Stefan-Probleme eindimensional angesetzt und gelöst werden und dass der Anteil (p3) an Austenit anhand einer nicht linearen Funktion der Lage der Phasengrenze (11, 12) bzw. der Phasengrenzen (11, 12) ermittelt wird.
10. Modellierverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung, in welchen Konzentrationen ( $k_1$  bis  $k_4$ ) das mindestens eine bewegliche Legierungselement beidseits der ersten Phasengrenze (11, 12) bzw. beidseits der ersten und beidseits der zweiten Phasengrenze (11, 12) vorliegt, anhand der Gibbsschen freien Enthalpien ( $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ ) der Phasen erfolgt.
11. Modellierverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der im Anfangszustand (ZA) bereits vorhandenen Phasen und an-

hand der Gibbsschen freien Enthalpien ( $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ ) der Phasen ermittelt wird, ob sowohl Austenit als auch die erste weitere Phase vorliegen bzw. ob zusätzlich zu Austenit und der ersten weiteren Phase auch die zweite weitere Phase vorliegt.

5

12. Modellierverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Stahlvolumen (1) eine Vielzahl von Volumenelementen (9) umfasst, dass das Stefan-Problem bzw. die Stefan-Probleme nur für einen Teil der Volumenelemente (9) gelöst wird bzw. werden und dass die lokalen Anteile ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ) der Phasen der anderen Volumenelemente (9) anhand der lokalen Anteile ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ) der Phasen des Teils der Volumenelemente (9) ermittelt werden.

15

13. Modellierverfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeleitungsgleichung individuell für jedes Volumenelement (9) gelöst wird.

20

14. Modellierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet,  
- dass dem Rechner (4) ein Erstzustand (Z) und zumindest eine gewünschte Endgröße ( $f'^*$ ) vorgegeben werden,  
25 - dass das Modellierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 iterativ angewendet wird,  
- dass der Anfangszustand (ZA) der ersten Iteration dem Erstzustand (Z) und der Anfangszustand (ZA) jeder weiteren Iteration dem unmittelbar zuvor ermittelten Folgezustand (ZF) entspricht und  
30 - dass anhand des nach einer letzten Iteration ermittelten Folgezustands (ZF) eine erwartete Endgröße ( $f'$ ) ermittelt und mit der gewünschten Endgröße ( $f'^*$ ) verglichen wird.

35

15. Modellierverfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass es online und in Echtzeit oder offline ausgeführt wird.